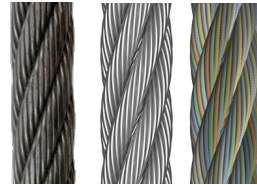


## Untersuchung kunststoff-ummantelter Drahtseile

Schulze, M.; Wächter, M.



ion and similar papers at [core.ac.uk](http://core.ac.uk)

bro

provided by Publikationsserver der Techni

*legereife nicht nach den gängigen Normen bestimmt werden. Um mögliche Lebensdauervorteile dennoch nutzen zu können, soll deren Lebensdauer- und Spulverhalten untersucht und in Bezug auf die Ummantelung optimiert werden. Das Forschungsprojekt wird mit Unterstützung der Drahtseil-Vereinigung e.V. an der TU Dresden und der TU Clausthal durchgeführt.*



*For coated ropes exists no discard criteria referring to current standards. In some practical cases coated ropes show a longer service life than wire ropes. Experiments on bending fatigue and spooling behaviour are carried out to utilise this advantage and optimise the coating. The research project is supported by the Drahtseil-Vereinigung e.V. and is carried out by the TU Dresden and the TU Clausthal.*

### Randbedingungen des Forschungsprojekts

Das IGF-Forschungsprojekt (Industrielle Gemeinschaftsforschung) „Lebensdauer und Wickelverhalten kunststoff-ummantelter Drahtseile“ wird durch die Forschungsstellen Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme (Leitung Prof. Dr.-Ing. habil. Thorsten Schmidt) der TU Dresden und das Institut für Maschinenwesen (Leitung Prof. Dr.-Ing. Armin Lohrengel) der TU Clausthal durchgeführt.

Durch die Antragstellung mit Hilfe der Drahtseil-Vereinigung e.V. (DSV) und über deren Mitgliedschaft im Gemeinschaftsausschuss Kaltformgebung e.V. (GAK) wird das Forschungsprojekt durch die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e.V. (AiF) gefördert.

Die DSV steht während der Projektlaufzeit mit ihren Drahtseilherstellern in der Technischen Kommission und als Rahmen für den Projektbegleitender Ausschuss mit fachlichem Rat zur Seite.

Ziel des Projektes ist es, die in bestimmten Praxisanwendungen beobachteten höheren Lebensdauern im Vergleich zu nicht ummantelten Drahtseilen in einem breiten Anwendungsfeld zu ermöglichen. Bisher stehen diesen Anwendungen Probleme bei der Erkennung der Alegereife gegenüber. Durch den Mantel kann keine oder nur eine eingeschränkte Sichtprüfung hinsichtlich gebrochener Drähte

und Litzen, Verformungen und Korrosion durchgeführt werden. Aus diesem Grund ist eine Ummantelung nach Norm nicht erlaubt.

Die angestrebte breite Anwendung schließt den Einsatz von kunststoffummantelten Seilen in der Mehrlagenwicklung auf Seiltrommeln ein. In Bezug auf diese Anforderung ist eine Optimierung des Mantels geplant. Dabei sollen verschiedene Optimierungsansätze durch den Einsatz von Finite-Elemente-Simulationen überprüft werden. Nach der Erstellung und Validierung des Modells sollen verschiedene Varianten untersucht werden. Ziel der Simulationen sind Aussagen zum Elastizitätsverhalten und damit Einfluss auf die Trommelbelastung, Reibungsverhalten sowie der Belastbarkeit der Ummantelung.

Grundlagenversuche zum Spulverhalten, Untersuchungen zum Verhalten des Seils unter Querdruck sowie die Erstellung der Geometrie für ein 3-D FE-Modell mit ersten Berechnungsergebnissen werden nachfolgend als erste Arbeitspakete des Institut für Maschinenwesen vorgestellt.

### Grundlagenversuche an kunststoffummantelten Seilen

Zur Ermittlung des Istzustandes werden die ummantelten Versuchsseile (Abbildung 1) mehrlagig gespult. Weiterhin werden sie auch in einem Querdruckversuch mit vergleichbaren Druckbelastungen wie in der Mehrlagenwicklung untersucht. Bei dem Querdruckversuch ist es sowohl möglich, die Schädigungen des Mantels genauer zu erfassen als auch Erkenntnisse zu Versagensursachen zu gewinnen.

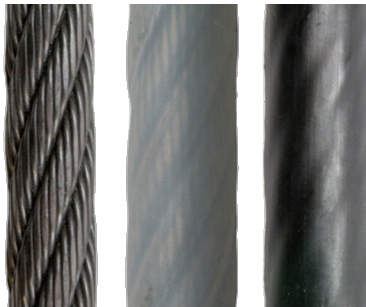


Abbildung 1: Versuchsseile: ohne Mantel (links), Mantel 1 (durchsichtig) (Mitte) und Mantel 2 (schwarz) (rechts)

### Spulversuch

Ziel der Spulversuche ist es, das Spulverhalten zu beobachten und Erkenntnisse zu gewinnen, wann und in welchen Bereichen Schäden an der Ummantelung auftreten. Neben einer visuellen Begutachtung des Spulergebnisses (Abbildung 2,

oben) wurde die Oberfläche auch mit Laser-Profil-Scannern aufgenommen (siehe zum Vorgehen /1/) (Abbildung 2 unten). Beide Analysemethoden zeigen, dass diese ummantelten Seile ein gutes Wickelergebnis aufweisen. Wickelfehler, wie beispielsweise Lücken zwischen den einzelnen Umschlingungen, sind nicht erkennbar.

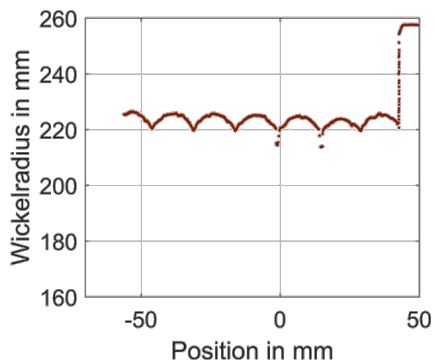
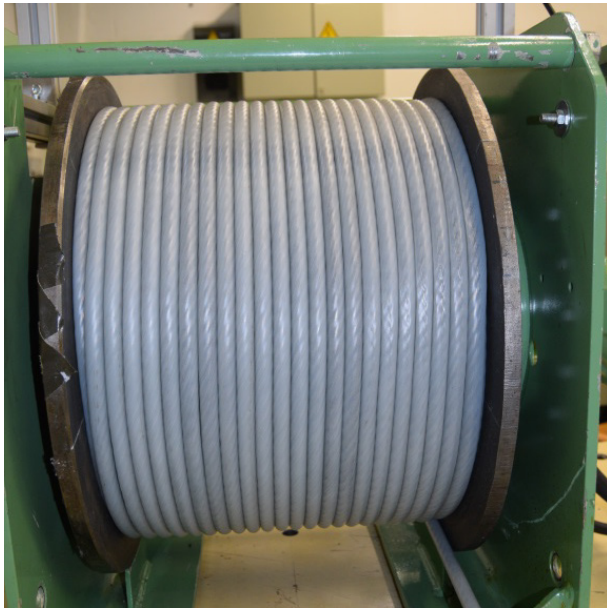


Abbildung 2: Spulergebnis in der 5. Lage des ummantelten Seils mit Mantel 1: oben Foto und unten Aufnahme mit Laser-Profil-Scanner direkt neben der Bordscheibe

Kritisch für den Mantel zeichnet sich der Bereich ab, in dem der Kontakt zwischen den einzelnen Umschlingungen verschiedener Lagen stattfindet. Dabei ist die Belastung der Kontaktstellen im Kreuzungsbereich der Lebus-Rillung am Größten. Hier kann sich die obere Umschlingung auf nur eine darunterliegende abstützen (Abbildung 3 links). Im Parallelbereich dagegen liegt jede obere Umschlingung auf zwei darunterliegenden (Abbildung 3 rechts).

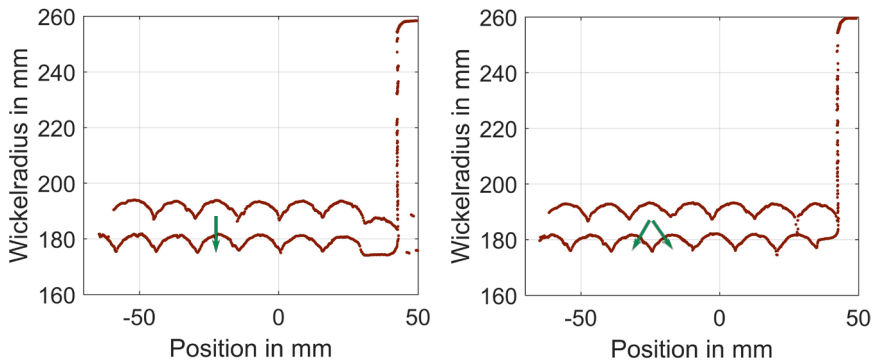


Abbildung 3: Seilkonfiguration während des mehrlagigen Spulens in der ersten und zweiten Lage: Kreuzungsbereich mit übereinanderliegenden Umschlingungen (links) und Parallelbereich mit um eine halbe Rillensteigung in axialer Trommelrichtung versetzten Umschlingungen

### Querdruckversuch

Wie zuvor beschrieben, ergibt sich im Kontakt zwischen den Seilen im Kreuzungsbereich die höchste Belastung für den Kunststoffmantel. Aus diesem Grund wird diese Kontaktsituation zwischen zwei Seilen auch in einem ebenen Versuch nachgestellt. Hierdurch lässt sich der Kontakt losgelöst von einem Spulversuch untersuchen. Gleichzeitig ergibt sich jedoch eine vergleichbare Seilanordnung (Abbildung 4) wie auf der Seiltrommel im Kreuzungsbereich (Abbildung 3 links).

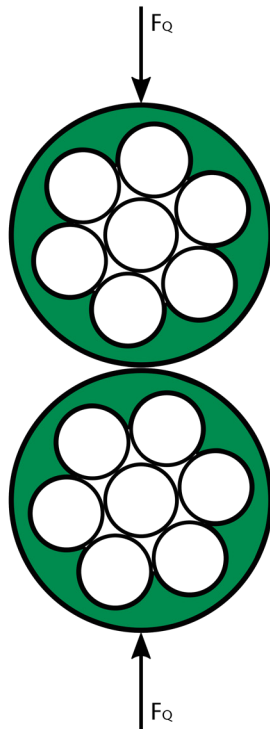


Abbildung 4: Aufbau des vereinfachten Querdruckversuchs mit zwei vereinfachten ummantelten Seilen

Die Ergebnisse dieses Versuchs erlauben es, später Simulationsergebnisse des modellierten Seils mit einem realen Versuch abzugleichen.

### Berechnung eines Drahtseils mittels Finite-Elemente-Methode

Zur Berechnung des Seils mit Hilfe der FE Methode insbesondere des Querdruckverhaltens des Seils ist es erforderlich, dieses als 3D-Modell aufzubauen. Dazu wird der Verlauf der Drähte im Seil durch Gleichungen beschrieben. Über eine Schnittstelle kann das Modell anschließend von der CAD-Software Creo an die FE-Software Ansys übergeben werden. Hier werden die für die Simulation erforderlichen Randbedingungen sowie Materialeigenschaften festgelegt.

### 3-D Modellierung des Seils

Bei der Modellierung des Seils muss zwischen verschiedenen Verläufen der Drähte unterschieden werden. Dies liegt im Seilaufbau begründet, welcher sich aus mehreren Litzen zusammensetzt (Abbildung 5).

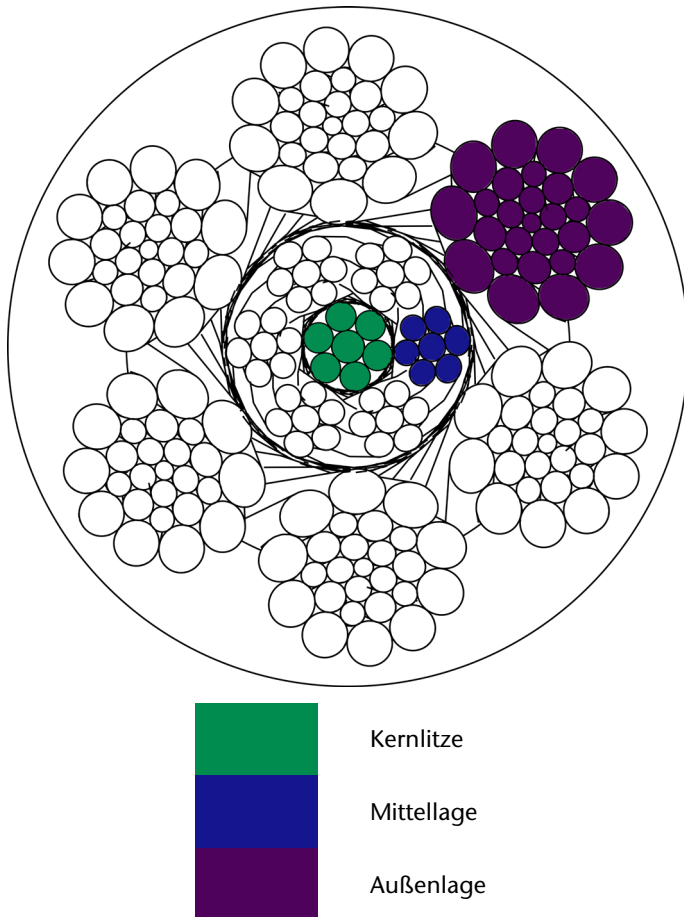


Abbildung 5: Seilaufbau im Querschnitt mit Kernlitze, Mittellage, Außenlage und Mantel

Der Draht in der Mitte des Seils hat einen geraden Verlauf. Weitere Drähte sind in einer einfachen Helix (Schraubenlinie) darum geschlagen. Diese Kernlitze insgesamt ist gestreckt im Seil. In den Litzen, die an die Herzlitze angrenzen (Mittellage)

bzw. noch weiter außen liegen (Außenlage), ist der mittlere Draht als einfache Helix ausgebildet, die darum geschlagenen Drähten bilden doppelte Helices. Der Verlauf der einfachen Helix ist in Abbildung 6 zu sehen. Er lässt sich mit Formel 1 beschreiben [2, 3, 4].

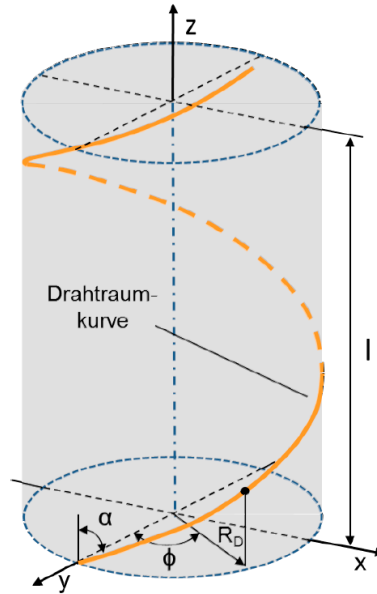


Abbildung 6: Verlauf einer Helix in Abhängigkeit des Radius' und des Schlagwinkels  $\alpha$  [2]

$$\begin{bmatrix} x(\varphi) \\ y(\varphi) \\ z(\varphi) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_D \cdot \cos(\varphi_D) \\ R_D \cdot \sin(\varphi_D) \\ R_D \cdot (\varphi_D / \tan(\alpha)) \end{bmatrix} \quad 1$$

Der Verlauf einer doppelten Helix ist in Abbildung 7 zu sehen. Die mathematische Beschreibung ist in den Formeln 2 und 3 angegeben.

Neben den Radien, in denen die jeweiligen Drähte geschlagen sind, ist die Kenntnis der Schlagwinkel erforderlich. Die Bezugsgröße  $W$  (Formel 3) kann durch die bereits genannten Größen berechnet werden.

Bei der Modellierung der Drähte ist noch zu beachten, ob diese rechts- oder linksgängig geschlagen sind. Aus der Kombination der beiden Möglichkeiten in einfachen und doppelten Helices werden Seile in Gleichschlag (Draht und Litze sind in gleicher Richtung geschlagen) oder Kreuzschlag (Schlagrichtung von Draht und Litze entgegengesetzt) erzeugt.

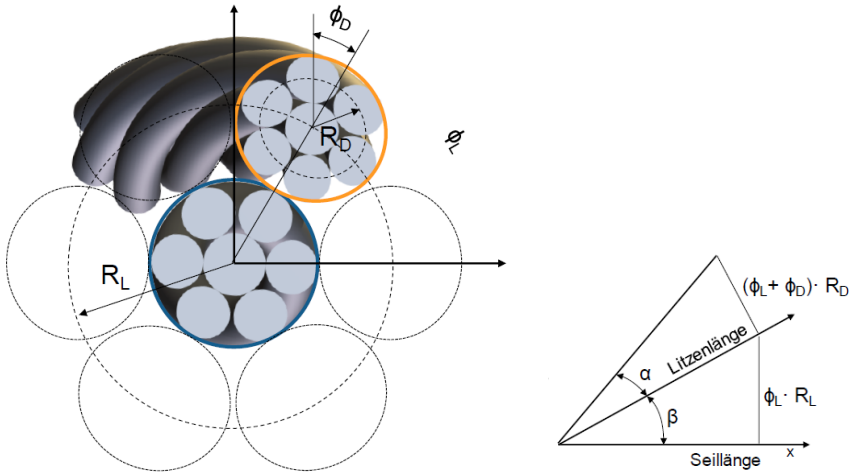


Abbildung 7: Verlauf einer doppelten Helix in Abhängigkeit der Radien und der Schlagwinkel /2/

$$\begin{bmatrix} x(\varphi) \\ y(\varphi) \\ z(\varphi) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_L \cdot \cos(\varphi_L) - R_D \cdot (\cos(\varphi_L) \cdot \cos(W \cdot \varphi_L)) \\ - \sin(\varphi_L) \cdot \sin(W \cdot \varphi_L) \cdot \cos(\beta) \\ R_L \cdot \sin(\varphi_L) - R_D \cdot (\sin(\varphi_L) \cdot \cos(W \cdot \varphi_L) \\ + \cos(\varphi_L) \cdot \sin(W \cdot \varphi_L) \cdot \cos(\beta)) \\ R_L \cdot (\varphi_L / \tan(\beta)) \\ + R_D \cdot \sin(W \cdot \varphi_L) \cdot \sin(\beta) \end{bmatrix} \quad 2$$

$$W = \frac{\phi_D}{\phi_L} = \frac{R_L}{R_D} \cdot \frac{\tan(\alpha)}{\sin(\beta)} - 1 \quad 3$$

Mit der Kenntnis des Verlaufs jedes Drahtes kann die Formel im CAD-System eingegeben werden. Mit Hilfe eines Zug-Konstruktionselementes wird der Draht erzeugt. Aufgrund des zyklischen Aufbaus eines Seils kann an bestimmten Stellen auf eine Vervielfältigung der Geometrien mit Hilfe von Mustern zurückgegriffen werden. Als Ergebnis liegt das 3-D Modell des Seils vor, wie es in Abbildung 8 in einer gerenderten Aufnahme zu sehen ist.



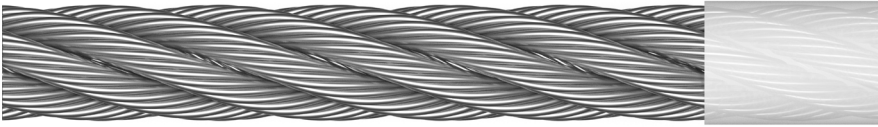


Abbildung 8: 3-D Modell des Seils mit Kunststoffmantel

### Finite-Elemente-Modell

Nach der Übertragung des 3-D Modells in Ansys wird es vernetzt (Abbildung 9). Außerdem müssen die Randbedingungen wie beispielsweise die Krafteinleitung definiert werden. Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Wahl der richtigen Kontakteinstellungen, um das reale Verhalten des Seils möglichst gut abzubilden. Dabei werden zwei Kontaktbereiche unterschieden. Zum einen die Kontakte zwischen den Drähten innerhalb einer Litze und zwischen den Litzen aber auch die Kontakte zwischen dem Seil und dem Kunststoffmantel.



Abbildung 9: 3-D Modell des Seils in Ansys

Die anschließende Berechnung des Modells liefert Aussagen zu Verformungen, Spannungen und den Kontaktsituationen zwischen den einzelnen Elementen des Seils.

### Erste Berechnungsergebnisse

An dieser Stelle werden Ergebnisse von Voruntersuchungen vorgestellt /5/. Dazu wurde zur Vereinfachung nur die Herzlitze des Seils modelliert. Auf den Kunststoffmantel wurde vollständig verzichtet. Die Querkraft wird über eine der Litze angepasste Rillengeometrie und einen glatten Stempel übertragen (Abbildung 10).

In Ansys werden anschließend die Einspannbedingungen vorgeben und die Litze mit einer Kraft, entsprechend der Seilkraft beaufschlagt. Die Querkraft wird entsprechend der Belastung auf einer Seiltrommel bei einer Mehrlagenwicklung berücksichtigt. In Abbildung 11 ist die sich einstellende Deformation zu sehen. Da die Verschiebung in radialer Seilrichtung erheblich größer ist im Vergleich zur Seildehnung in axialer Richtung (infolge der Seilkraft), ist diese in der dargestellten Skalierung nicht zu erkennen.

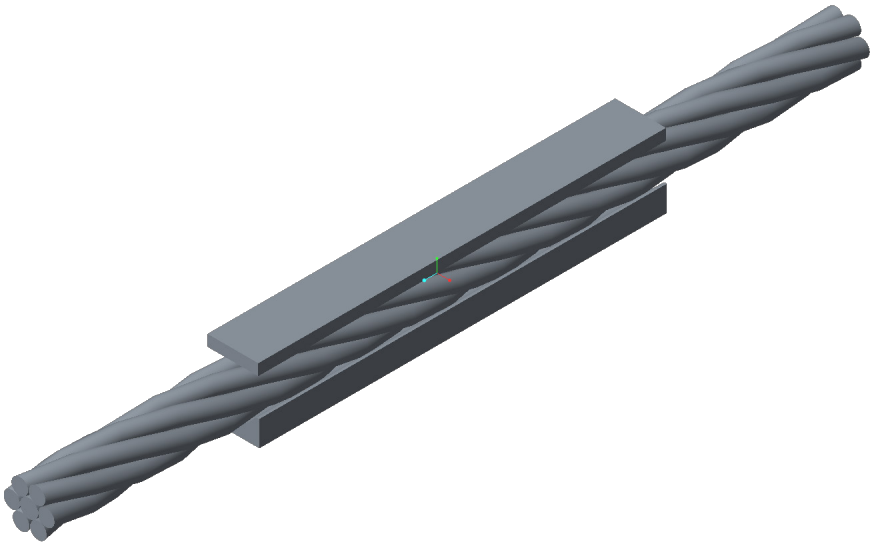


Abbildung 10: 3-D Modell des Seils mit Geometrie zur Einleitung der Querkraft als CAD Darstellung, nach /5/

**A: Statisch-mechanische Analyse**

Total Deformation

Type: Total Deformation

Unit: mm

Time: 10

02.08.2017 14:06

0,0019876

0,0017668

0,0015459

0,0013251

0,0011042

0,00088338

0,00066253

0,00044169

0,00022084

0 Min

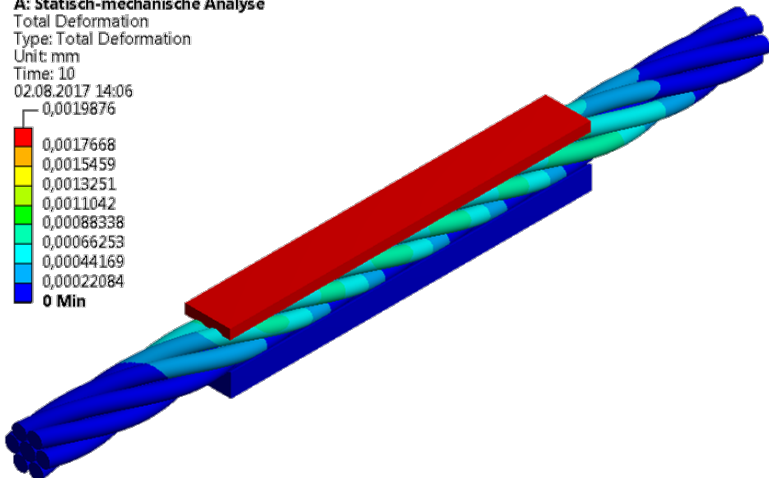


Abbildung 11: FE-Modell des Seils nach Aufbringung der Seilkraft und der Querkraft /5/

Aus der aufgebrauchten Kraft in Relation zur ermittelten Verschiebung wird für dieses Modell die Querelastizität berechnet (Formel 4).

$$E_{SQ} = \frac{\Delta F_Q}{\Delta d \cdot l_{mess}} \quad 4$$

Dabei werden die relevanten Kräfte, zwischen denen die Elastizität berechnet wird, bestimmt. Auch die Messlänge  $l_{mess}$  (*Stempellänge*) muss berücksichtigt werden.

## Weitere Untersuchungen

Im weiteren Projektverlauf werden die skizzierten FE-Untersuchungen für den kompletten Seilquerschnitt weiterentwickelt. Der Kunststoffmantel findet ebenfalls Berücksichtigung. Dabei ist zu beachten, die Materialeigenschaften der Ummantelung realitätsnah abzubilden. Neben den gezeigten Querelastizitätsberechnungen wird dabei der Focus auf der Kontaktsituation zwischen Ummantelung und Drahtseil sowie den ummantelten Seilen untereinander liegen.

Die Untersuchungen im Rahmen der Finiten-Elemente werden dabei in Kooperation mit der TU Dresden durchgeführt. Die Erforschung des Lebensdauerverhaltens wird vollständig durch die TU Dresden ausgeführt.

Nach Abschluss des Projektes sollen mit dem beschriebenen Vorgehen grundlegende Erkenntnisse für einen Einsatz kunststoffummantelter Seile in der Praxis zur Verfügung stehen.

## Zusammenfassung

Das Forschungsprojekt „Lebensdauer und Wickelverhalten kunststoffummantelter Drahtseile“ wird mit der Unterstützung der Drahtseil-Vereinigung e.V. durch die TU Dresden und die TU Clausthal durchgeführt. Durch Grundlagenversuche zur Lebensdauer und zum mehrlagigen Spulverhalten soll die Basis für eine Optimierung des Seils mit Hilfe der Finiten-Elemente geschaffen werden.

Ziel ist es, kunststoffummantelte Seile in der Mehrlagenwicklung sicherheitsrelevant nutzbar zu machen. Ein wichtiger Aspekt dabei ist die Erkennung der Ablegereife, um so einen sicheren Einsatz in der Praxis zu gewährleisten.

## Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei der Drahtseilvereinigung e.V. und ihren Mitgliedern für die inhaltliche Betreuung sowie dem Gemeinschaftsausschuss Kaltformgebung e.V. und der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. für die finanzielle Unterstützung des Projekts „Lebensdauer und Wickelverhalten kunststoffummantelter Drahtseile“ (IGF-Projekt 19598).



Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## Literatur

- /1/ Schulze, M.: Einsatz von Laser Profil Scannern bei der Mehrlagenwicklung von Seilen; Mitteilungen aus dem Institut für Maschinenwesen der Technischen Universität Clausthal 41 (2016), 113-126
- /2/ Weis, J. C.: Parameterstudie der Kontaktspannungen in zugbelasteten Drahtseilen basierend auf der Finite-Elemente-Methode, Dissertation, Universität Stuttgart, 2015
- /3/ Jenner, T.: Ein Beitrag zur Geometrie der Drahtseile, Dissertation, Universität Stuttgart, 1992
- /4/ Jensen, M.: Modellierung eines Seils und Ermittlung der Quersteifigkeit mit FE, nicht veröffentlichte Bachelorarbeit, IMW, TU Clausthal 2016
- /5/ Barnfeld, J.: Untersuchung der Quersteifigkeit von Drahtseilen mit Hilfe der FEM, nicht veröffentlichte Masterarbeit, IMW, TU Clausthal 2017